

В. А. ТІТОВ, Н. К. ЗЛОЧЕВСЬКА, А. Д. ЛАВРІНЕНКОВ

ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРІДНОГО МАТЕРІАЛУ ШЛЯХОМ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДЕФОРМАЦІЙ НА СТРУКТУРУ СПЛАВУ

Пропонується спосіб гвинтового уширяючого пресування для формування механічних властивостей та дрібнодисперсної структури матеріалу з подальшим штампуванням деталей, отриманих з заготовок з покращеною структурою. Проведено чисельний розрахунок процесу гвинтового уширяючого пресування. За результатами чисельного моделювання встановлено, що величина інтенсивності деформацій для схеми деформування – гвинтового уширяючого пресування величина деформації збільшується по мірі проходження гвинтового каналу на 15–20%; встановлено, що максимальна величина накопиченої інтенсивності деформації в периферійній зоні zdeформованої заготовки за один прохід складає 0,7–0,8; показано, що величина середнього напруження стиску при використанні редукування в 1,5–1,7 разів більше, в порівнянні без протитиску. Чисельні результати підтверджено експериментально. Показано, що після деформування характеристики міцності підвищуються, в середньому на 10–12%. Встановлено, що в результаті пластичної деформації відбувається подрібнення твердої фази, в результаті цього розмір часток зменшується в 1,5–3,0 рази в шарах близьких до периферії і в центральній зоні 1,1–1,3 рази.

Ключові слова: гвинтове уширяюче пресування, інтенсивності деформацій, напруження стиску, міцність, деформування, напруження.

В. А. ТИТОВ, Н. К. ЗЛОЧЕВСКАЯ, А. Д. ЛАВРИНЕНКОВ

УСТАНОВКА ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНОГО МАТЕРИАЛА ПУТЕМ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ НА СТРУКТУРУ СПЛАВА

Предлагается способ винтового уширяющего прессования для формирования механических свойств и мелкодисперсной структуры материала с последующим штамповкой деталей, полученных из заготовок с улучшенной структурой. Проведен численный расчет процесса винтового уширяющего прессования. По результатам численного моделирования установлено, что величина интенсивности деформаций для схемы деформирования – винтового уширяющего прессования величина деформации увеличивается по мере прохождения винтового канала на 15–20%; установлено, что максимальный размер накопленной интенсивности деформации в периферийной зоне деформированной заготовки за один проход составляет 0,7–0,8; показано, что величина среднего напряжения сжатия при использовании редуцирования в 1,5–1,7 раз больше, по сравнению без противодействия. Численные результаты подтверждено экспериментально. Показано, что после деформирования прочностные повышаются в среднем на 10–12%. Установлено, что в результате пластической деформации происходит измельчение твердой фазы, в результате этого размер частиц уменьшается в 1,5–3,0 раза в слоях близких к периферии и в центральной зоне 1,1–1,3 раза.

Ключевые слова: винтовое уширяющего прессования, интенсивности деформаций, напряжения сжатия, прочность, деформации, напряжения.

V. A. TITOV, N. K. ZLOCHEVSKAYA, A. D. LAVRINENKOV

INSTALLATION OF LAWS OF FORMATION OF THE PROPERTIES OF STRUCTURAL-INHOMOGENEOUS MATERIAL BY THE INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF DEFORMATIONS ON THE STRUCTURE OF ALLOY

A method of screw pressing for a broadening of the formation of mechanical properties and fine structure of the material, followed by stamping parts made from billets with improved structure. Numerical calculation of the process of screw extensible pressing is carried out. According to the results of numerical simulation, it has been established that the magnitude of the deformation intensity for the deformation scheme – the screw extensible compression – increases the deformation value as the screw channel passes by 15–20%; it is established that the maximum size of the accumulated intensity of deformation in the peripheral area of the deformed workpiece in one pass is 0,7–0,8; it is shown that the average compressive stress when using the reduction in 1,5–1,7 times more, than without the back pressure. The numerical results are confirmed experimentally. It is shown that, after deformation strength increase on average by 10–12%. It is established that as a result of plastic deformation there is a grinding of the solid phase. The particle size decreases by 1,5–3,0 times in the layers close to the periphery and in the Central zone of 1.1 to 1.3 times.

Keywords: screw extrusion broadening, intensity of deformation, compressive stress, strength, deformation, stress.

Вступ. Ефективність використання наукової техніки машинобудування (літальних апаратів, транспортних засобів, двигунів та інших) визначається її надійністю і економічністю в експлуатації. Основними факторами, які забезпечують ці показники, є застосування ефективних конструкційних матеріалів з підвищеними механічними властивостями (міцністю та пластичністю), а також з рівномірною дрібнокристалічною або спеціальною структурою.

Найбільш поширеними методами обробки заготовок металів, що створюють великі деформації зсуву в осередку деформації при зберіганні поперечного перерізу цієї заготовки, є рівноканальне кутове пресування (РКУ) [1, 2], гвинтова екструзія [3], інші. Дослідження, що виконані при пресуванні цими методами показали, що межа міцності підвищилась, в

середньому на 30–40%, а пластичність підвищилась на 6–8% [1–5]. Основні роботи в цьому напрямку виконані на деформуємих металах і сплавах.

Застосування конструкційних матеріалів, зміцнених фазовими складовими твердих евтектик – квазікомпозиційні матеріали також підвищують механічні характеристики. Особливий інтерес в авіадиригунобудуванні представляють евтектично зміцнені матеріали системи «титановий сплав – бориди титану» (Ti–TiB_n). Наприклад, матеріал на основі титанового сплаву ВТ 22 забезпечує підвищення границі міцності до 20% та границі витривалості до 10 %. Такі «квазікомпозиційні» структурно – неоднорідні матеріали мають хороші перспективи використання для виготовлення лопаток компресора

газотурбінних двигунів (ГТД), заготовки для яких у промислових умовах отримують пресуванням.

Наряду з цим в проведених роботах не достатньо повно досліджена механіка формування нової структури внаслідок великих пластичних деформацій для «квазікомпозиційних» структурно – неоднорідних матеріалів. Крім того не досліджено зв'язок впливу деформацій на формування нової структури.

Тому, формування механічних властивостей матеріалу деталей на етапі попереднього формування дрібнокристалічної структури металу пластичним формуванням заготовки в умовах гвинтового уширюючого пресування (ГУП) та в подальшому штампування деталі з цієї заготовки являється актуальною задачею.

Мета роботи: є встановлення закономірностей формування властивостей «квазікомпозиційного» структурно-неоднорідного матеріалу шляхом дослідження впливу деформацій в ізотермічних умовах на структуру сплаву.

Матеріали та методика експерименту. Експериментальне дослідження проводилось на гвинтовому фрикційному прес-молоті ФА-124 зусиллям Р-160тс. В експерименті використана

матриця для гвинтового уширюючого пресування, що забезпечує деформування за схемою «круг-еліпс-круг» [6].

Зразки виконані з матеріалу системи $Ti-TiB_n$ евтектичного складу (бор – 1,55%, титановий сплав BT22 – основа), що відповідає об'ємному вмісту TiB_2 біля 10%. Зразки після лиття оброблювались на електроерозійному верстаті до розмірів вихідної заготовки: діаметр 29,5 мм, висота 50 мм.

Перед деформуванням здійснювали нагрів заготовок в печі типу СНОЛ 7,2/1100. Заготовки нагрівали температури 930°C, оснащення нагрівали газовою горілкою до 300°C. Пресування заготовок проводили одна за одною. Швидкість пресування складала 0,7–1,0 м/с.

Постановка та результати розрахунку процесу деформування. На рис. 1. наведена розрахункова схема процесу гвинтового уширюючого пресування. Заготовка 1 встановлюється в матрицю 2, на яку діє пуансон 3 зусиллям P_d (при моделюванні пуансону задавали покрокове переміщення). На рис.2 наведено розташування заготовок в каналі матриці та на рис. 3 наведено розподіл температури по перетину заготовки.

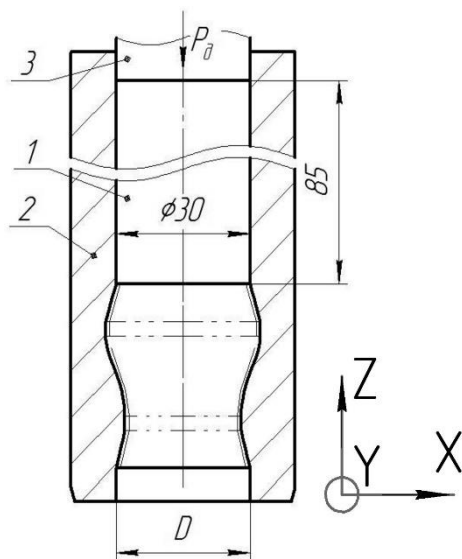


Рис. 1 – Розрахункова схема процесу гвинтового уширюючого пресування

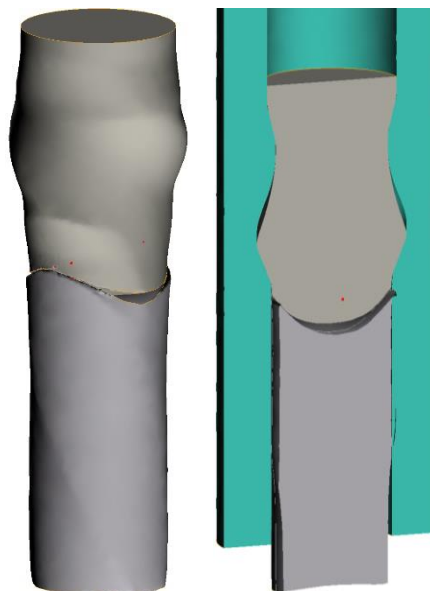


Рис. 2 – Розташування заготовок в каналі матриці

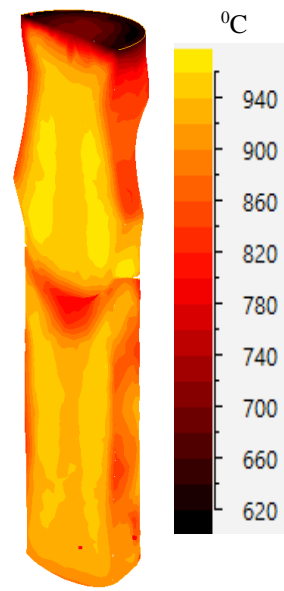


Рис. 3 – Розподіл температури по перетину заготовки

Для оцінки впливу геометрії матриці та швидкості деформування на деформацію заготовки було проведено моделювання процесу методом скінченних елементів в програмі QForm. Моделювання деформації проводилось без урахування пружної складової та з урахуванням теплових процесів. Матеріал заготовки, температура заготовки та інструменту обирали відповідно параметрів проведеного експерименту. Обладнання для деформування – гідравлічний прес та

гвинтовий прес. Змащення – графіт + мінеральне мастило. Моделювання проводилось із двома заготовками для створення протитиску. Реологічна модель матеріалу враховує вплив деформації, швидкості деформації та температури.

Розрахунок напружено-деформованого стану ГУП чисельними методами. Розрахунок процесу ГУП виконується чисельними методами з використанням відповідно до методики роботи.

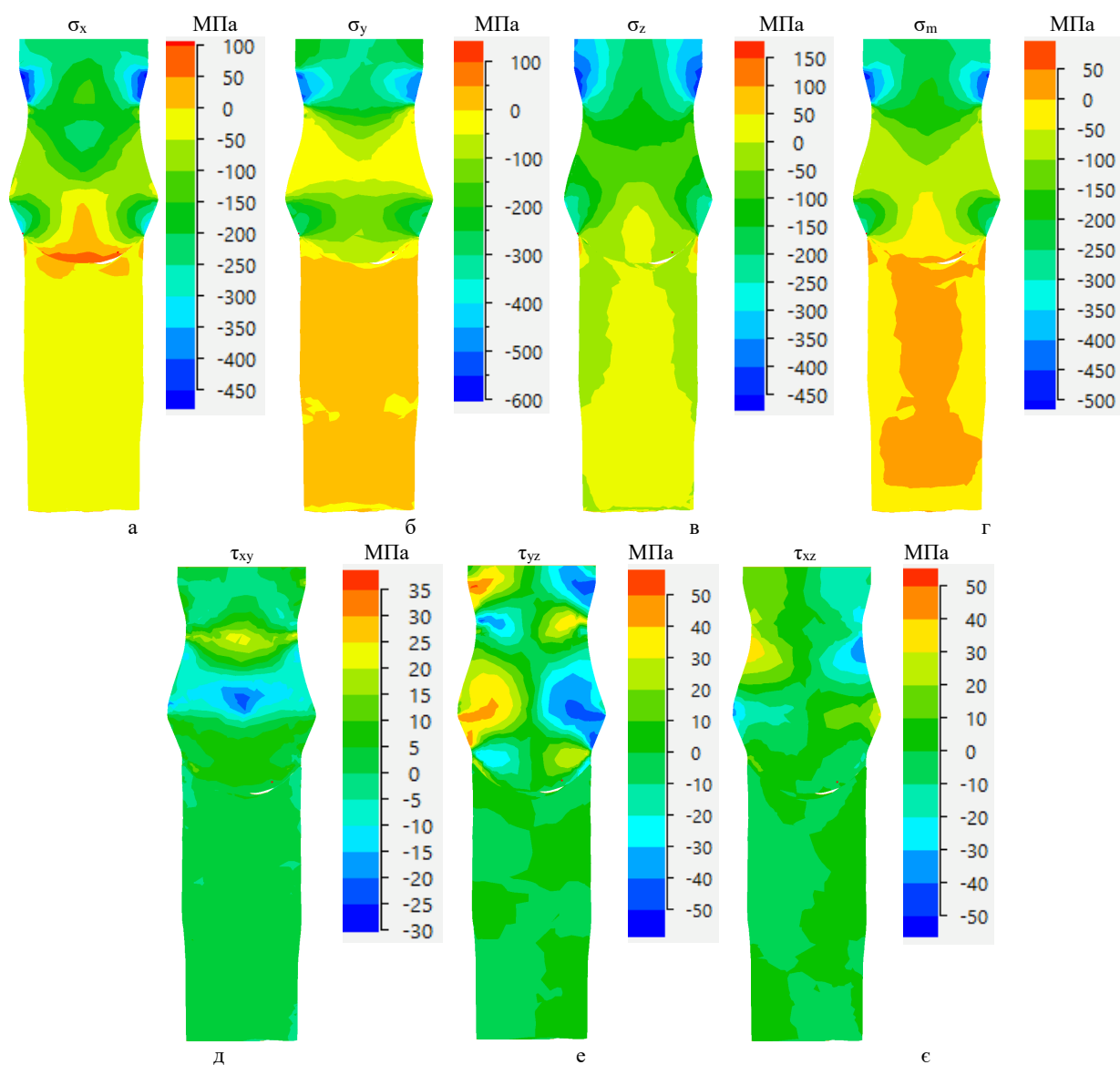


Рис. 4 – Розподіл компонент тензора напружень та середнього напруження в осьовому перерізі заготовки, що деформується

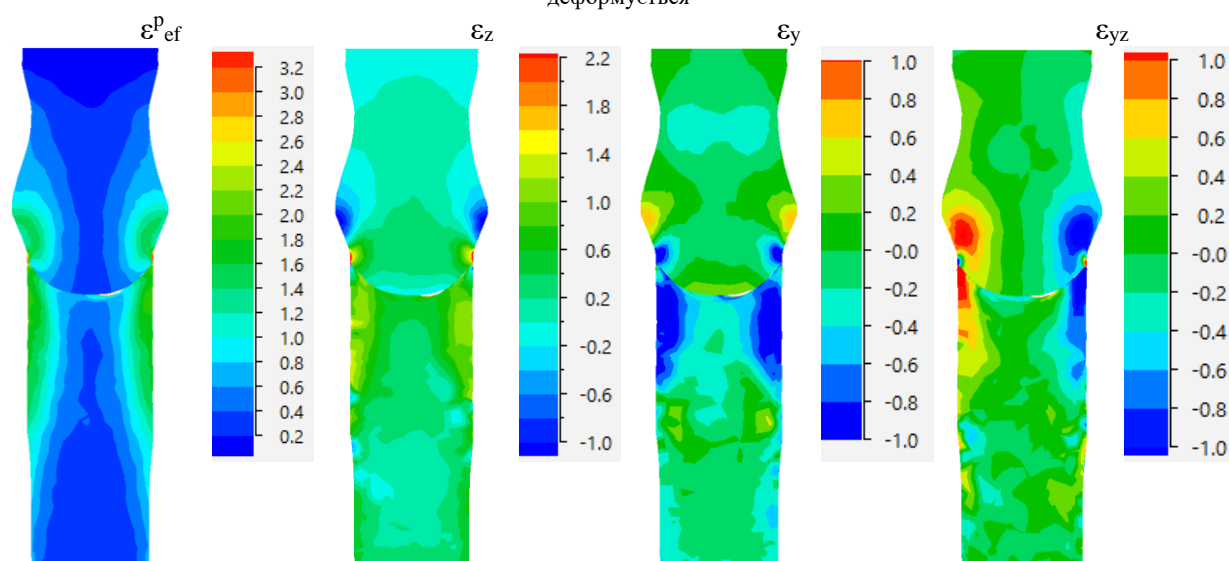


Рис. 5 – Розподіл ефективної пластичної деформації та компонент тензора деформацій в осьовому перерізі заготовки, що деформується

В роботі розглядалось два варіанти деформування заготовки: без протитиску та з протитиском. В якості протитиску використовували фальш-заготовку. Показано, що з використанням протитиску (рис. 2) матриця заповнюється на 95%. Аналіз розподілу температури по перетину заготовки (рис. 3) показує, що в зоні контакту пуансону з матеріалом та в верхніх шарах заготовки, які контактують з матрицею відбувається падіння температури. В зоні контакту

пуансону з заготовкою відбувається падіння на 30%, однак в зоні інтенсивних деформацій зона II (зона обертання еліпсу) відбувається підвищення температури на 5%. Зоні III при переході еліпса в круг відбувається також підвищення температури на 5–7%.

На рис. 4 та рис. 5 наведено розподіл напружень та деформацій по об'єму деформованої заготовки.

Розподіл деформацій виконано для характерних перерізів по висоті заготовки показано на рис. 6.

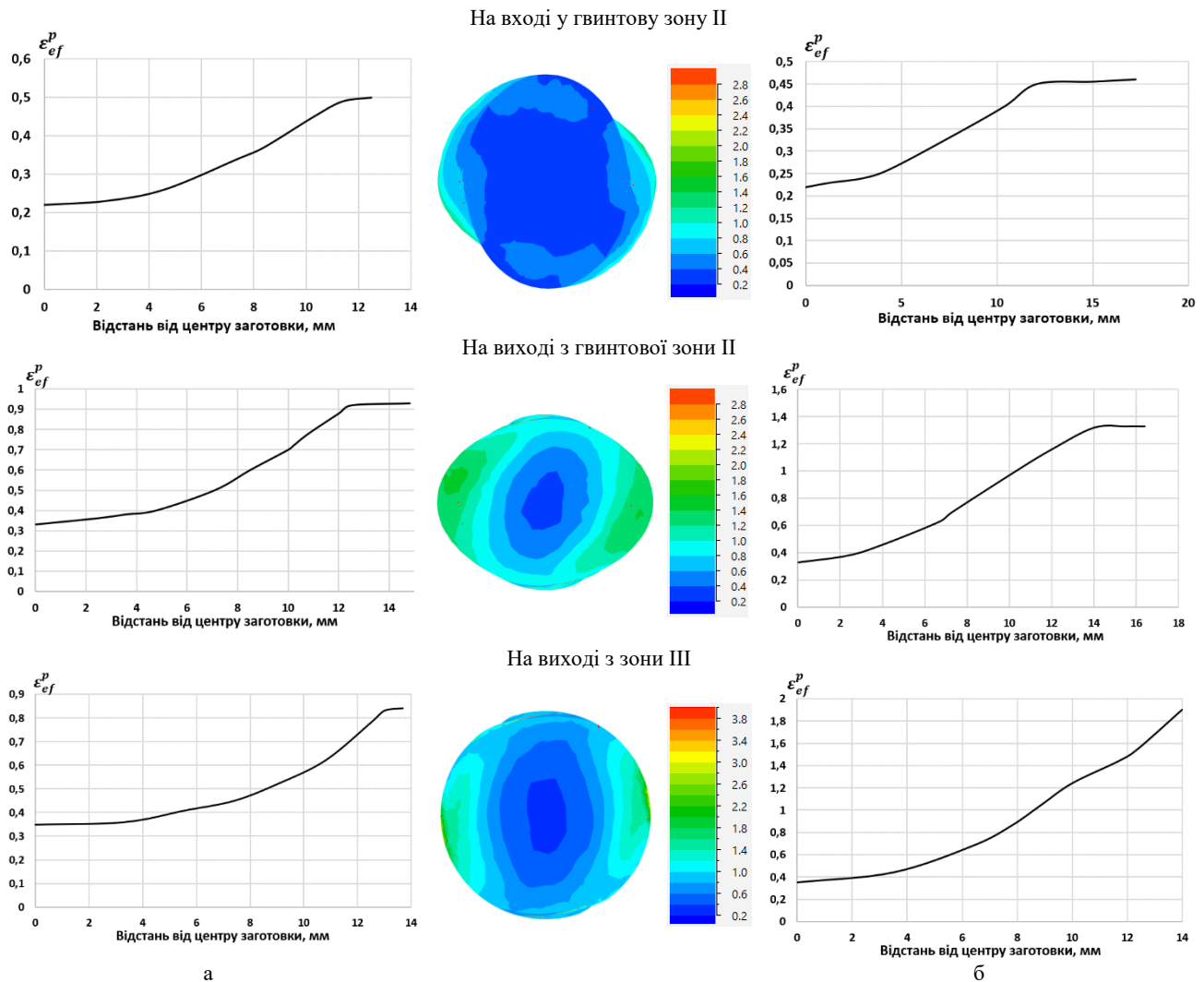


Рис. 6 – Розподіл пластичної ефективної деформації повздовж: а – малої та б – великої діагоналей еліптичного перерізу в різних зонах каналу матриці

Встановлено, що величина інтенсивності деформацій збільшується по мірі руху заготовки повздовж каналу матриці (повздовж осі OZ): на вході у гвинтову зону II матриці; на виході з гвинтової зони II та на вході в зону III. Необхідно відмітити, що для даної схеми деформування – гвинтового ушлярюючого пресування величина деформації збільшується по мірі проходження гвинтового каналу на 25–30%. Додаткову деформацію заготовка отримує при переході з гвинтової зони II в зону III. В напрямку

радіальної координати величина інтенсивності деформацій збільшується від центру до периферії. При цьому на периферії заготовки величина інтенсивності деформацій пропорційна довжині на півосей еліпсу.

Враховуючи, що якість металу залежить від середнього напруження, в роботі проведено аналіз розподілу середнього напруження в заготовці в процесі пресування.

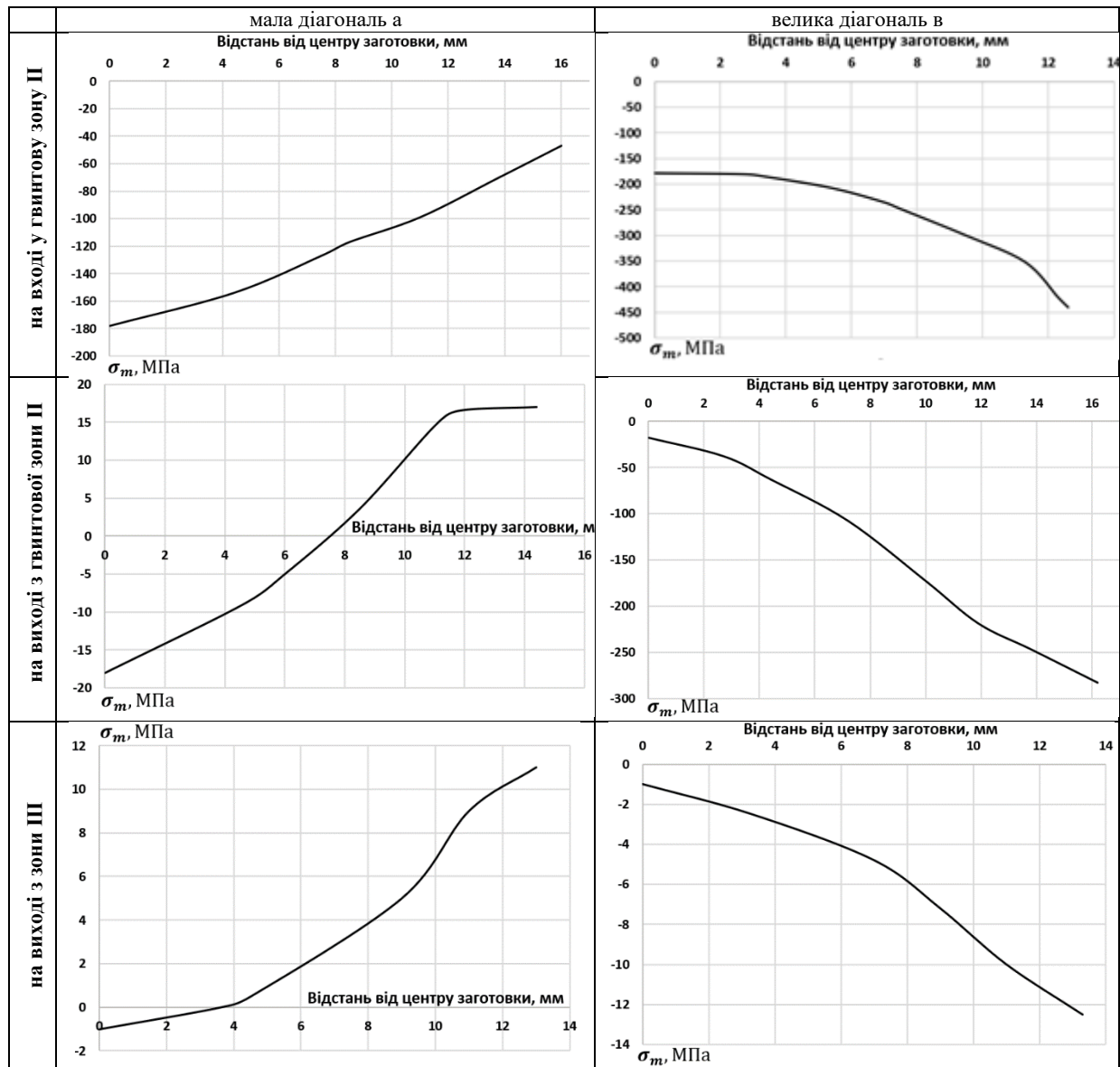


Рис. 7 – Розподіл середнього напруження поздовж радіальною координати деформованої заготовки без протитиску

Зменшення середнього напруження також спостерігається на виході заготовки з каналу матриці. При цьому величина середнього напруження стиску може зменшуватись до величини розтягуючого середнього напруження, що може привести до руйнування на мікро- та макрорівнях. Зменшення середнього напруження в цілому приводить до зменшення однорідності механічних властивостей металу заготовки.

При штампуванні першої заготовки, процес проходить без створення протитиску на заготовку. Тому при штампуванні першої заготовки заповнення каналу матриці буде найгіршим, як результат буде гірше пропрацювання структури матеріалу заготовки. Процес рівноканального гвинтового ушлярюючого пресування характеризується значними пластичними деформаціями (рис. 5 та рис. 6), що може призвести до руйнування заготовки в самому каналі матриці. Цілісність заготовки в процесі пресування забезпечується середніми напруженнями стиску в об'ємі заготовки. Значення середнього напруження в об'ємі заготовки без протитиску при пресуванні (рис.

7) в цілому за знаком «-», окрім ділянок заготовки, що відповідає виходу заготовки із гвинтової зони II та входу в зону III матриці. На цих ділянках вздовж малої діагоналі еліпсу заготовки біля периферії середні напруження мають знак «+». Для підвищення величини середнього напруження стиску використовують додаткове навантаження протитиском. Протитиск може створюватись як фальш-заготовкою (при штампуванні першої заготовки), так і попередньою заготовкою (при безперервному штампуванні декількох заготовок). Як і в першому випадку (без протитиску), максимальна величина середнього напруження відповідає осі заготовки (осі каналу матриці) і також є стискаючим (рис. 7).

Величина протитиску, який створюється першою заготовкою дорівнює 40–45 МПа. Цього достатньо для того, щоб середні напруження в заготовці на ділянках, що відповідають виходу заготовки із гвинтової зони II та входу в зону III матриці змінили свій знак із «+» на «-».

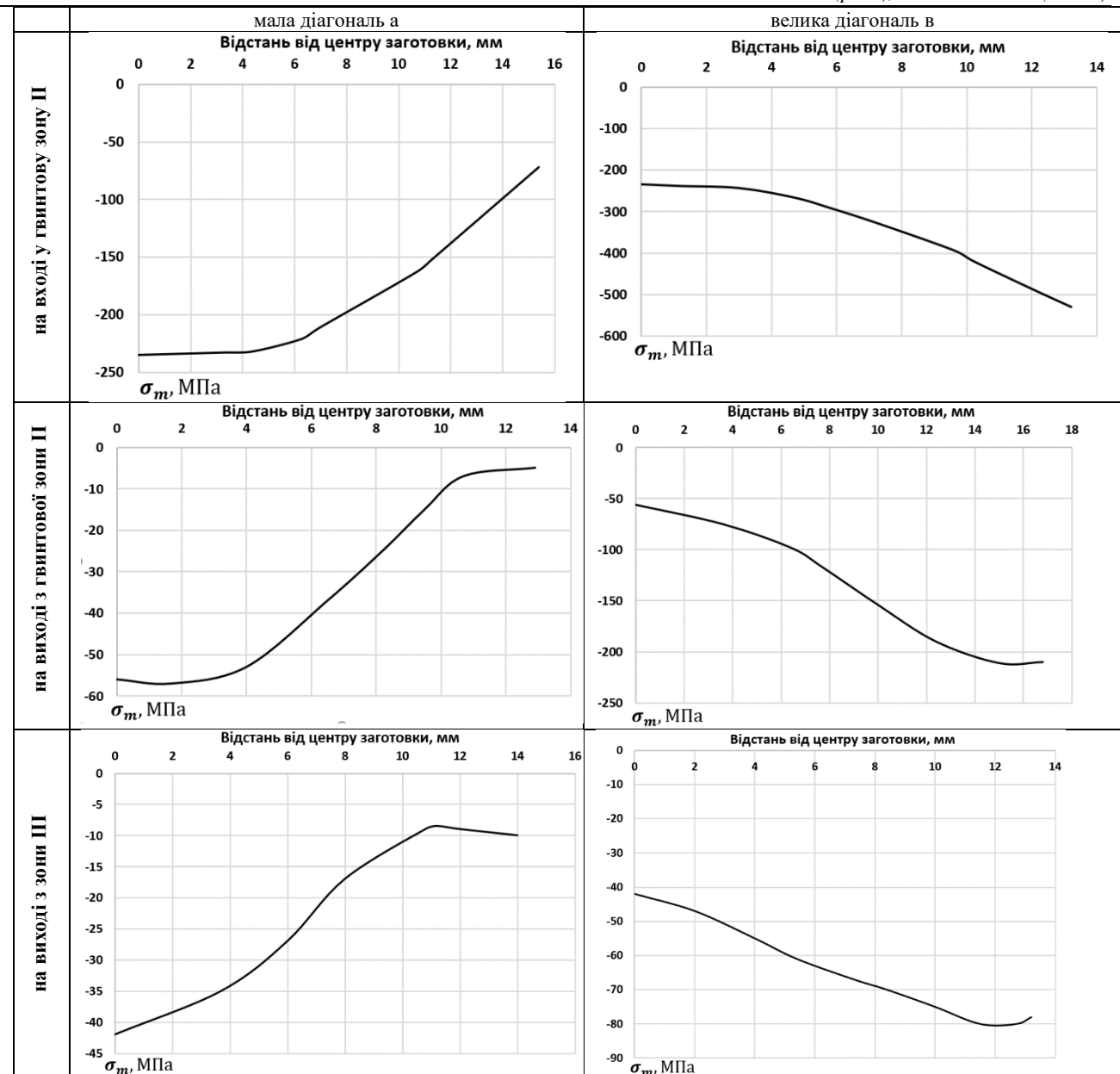


Рис. 8 – Розподіл середнього напруження поздовж радіальною координати заготовки, що деформується

Таким чином наявність протитиску забезпечує напруження стиску при деформуванні заготовки. Розрахунковим шляхом також встановлено, що максимальна величина накопиченої інтенсивності деформацій складає 74–85% від теоретичної (характеристики матриці) в периферійній зоні, що підтверджує наявність механізму проковзування при деформуванні [7].

Механічні випробування деформованого металу. Механічні властивості були визначені на зразках при досліді на розтяг відповідно з ГОСТ 1497 – 84 [5]. Результати показують, що після деформування характеристики міцності підвищуються, в середньому на 10–12%.

Металографічний аналіз. Після виконання дослідів було взято зразок після обробки та в вихідному стані і зроблено металографічне дослідження. Металографія без обробки представлена на рис. 9, а та після першої та другої обробки рис. 9, б.

Аналіз мікроструктури показує, що в результаті пластичної деформації виникає подрібнення твердої

фази боридів. Зменшення розмірів фази TiB_n після пресування пропорційно величині деформацій зсуву. Елементи твердої фази приймають упорядковане розташування в напрямку примусових градієнтів деформацій зсуву. При цьому периферійні зони мають більшу ступінь упорядкованості, ніж в центральній зоні.

Оскільки подрібнення виникає в умовах всебічного стискання при гарячій пластичній деформації титанової фази, то на границях злому твердої фази TiB_n відбувається заліковування ушкоджень, як це показують результати дослідження поверхні шліфа під час травлення.

В результаті пластичної деформації відбувається подрібнення твердої фази, в результаті цього розмір часток TiB_n зменшується в 1,5–3,0 рази в шарах близьких до периферії і в центральній зоні 1,1–1,3 рази. Це відбувається в наслідок нерівномірного розподілу деформацій зсуву в поперечному перерізі зразка.



Рис. 7 – Металографічне дослідження зразка:
а – зразок без обробки; б – зразок після обробки
гвинтовим ушлярюючим пресуванням

Список літератури

1. Валиев Р.З. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией / Ф.З. Валиев, Н.В. Александров // М.: Логос, 2000. – 272с.
2. The innovation potential of bulk nanostructured materials / R.Z. Valiev, M.J. Zehetbauer, Y. Estrin et al. // Advanced Engineering Materials. – 2007. – V. 9. – № 7. – P. 527–533.
3. Grain refinement versus voids accumulation during severe plastic deformations of polycrystals: mathematical simulation / Y. Beygelzimer // Mechanics of Materials. – 2005. – No 37. – P. 753–767.
4. Мурашкін М.Ю. Особености структуры и механические свойства алюминиевого сплава 6061, подвергнутого обработке равноканальным угловым прессованием в параллельных каналах / М.Ю. Мурашкін, Е.В. Бобрук, А.Р. Кільмаметов, Р.З. Валиев // Физика металлов и металловедение, 2008, том 108, №4, С. 439–447.
5. Могучева А.А. Структура и свойства алюминиевого сплава 1421 после РКУ – прессования и изотермической прокатки / А.А. Могучева, Р.О. Кайбышев // Физика металлов и металловедение. – 2008. – том 106. – №4. – С. 439–448.
6. Пат. 64346 України, МПК В21С25/00 Матриця для зміцнення матеріалу при багаторазовому пресуванні / В.А. Тітов, М.С. Тривайло, Н.К. Злочевська, Е.В. Кондратиук, Г.І. Пейчев. – № u201102822; заявл. 10.03.2011; опубл. 10.11.2011, Бюл.21.
7. Тітов В.А. Вплив форми каналу матриці на параметри процесу деформування заготовок при гвинтовому ушлярюючому пресуванні / В.А. Тітов, Н.К. Злочевська, О.В. Герасимова // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», серія «Машинобудування». – 2014. – № 72. С. 124–129.

В результаті такої обробки отримують сплав системи Ti-TiB_n з подрібненою фазою TiB_n і підвищеними механічними властивостями.

Висновки

1. Встановлено, що величина інтенсивності деформацій для схеми деформування – гвинтового ушлярюючого пресування величина деформації збільшується по мірі проходження гвинтового каналу на 15–20%.

2. Встановлено, що максимальна величина накопиченої інтенсивності деформації в периферійній зоні здеформованої заготовки за один прохід складає 0,7–0,8.

3. Показано, що величина середнього напруження стиску при використанні редукування в 1,5–1,7 разів більше, в порівнянні без протитиску.

4. Показано, що після деформування характеристики міцності підвищуються, в середньому на 10–12%.

5. Встановлено, що в результаті пластичної деформації відбувається подрібнення твердої фази, в результаті цього розмір часток TiB_n зменшується в 1,5–3,0 рази в шарах близьких до периферії і в центральній зоні 1,1–1,3 рази.

References (transliterated)

1. Valiev R.Z. Nanostrukturnye materialy, poluchennyye intensivnoy plasticheskoy deformatsiyey / F.Z. Valiev, N.V. Aleksandrov // Moscow: Lohos, 2000. – 272 p.
2. The innovation potential of bulk nanostructured materials / R.Z. Valiev, M.J. Zehetbauer, Y. Estrin et al. // Advanced Engineering Materials. – 2007. – V. 9. – No 7. – P. 527–533.
3. Grain refinement versus voids accumulation during severe plastic deformations of polycrystals: mathematical simulation / Y. Beygelzimer // Mechanics of Materials. – 2005. – No 37. – P. 753–767.
4. Murashkin M.Yu. Osobenosti struktury i mekhanicheskiye svoystva aliuminyevoho splava 6061, podverhnutoho obrabotke ravnokanalnym uhlovym pressovaniyem v parallelnykh kanalakakh / M.Yu. Murashkin, Ye.V. Bobruk, A.R. Kilmamietov, R.Z. Valiev // Fizyka metallov y metallovedeniye, 2008, tom 108, No4 – P. 439–447.
5. Mohucheva A.A. Struktura y svoystva aliuminyevoho splava 1421 posle RKU – pressovaniya y yzotermicheskoy prokatki / A.A. Mohucheva, R.O. Kaibishev // Fizyka metallov y metallovedeniye. – 2008. – Vol/ 106. – No4. – P. 439–448.
6. Pat. 64346 Ukrainy, MPK V21S25/00 Matrytsia dlia zmitsnennia materialu pry bahatorazovomu presuvanni / V.A. Titov, M.S. Tryvailo, N.K. Zlochevska, E.V. Kondratiuk, H.I. Peichev. – No u201102822; zaivl. 10.03.2011; opubl 10.11.2011, Biul.21.
7. Titov V.A. Vplyv formy kanalu matrytsi na parametry protsesu deformuvannya zahotovok pry hvynotovomu ushlyariuochomu prasuванні / V.A. Titov, N.K. Zlochevska, O.V. Herasymova // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy “Kyivskyyi politekhnichnyi instytut”, seriia “Mashynobuduvannia”. – 2014. – No72. P. 124–129.

Надійшла (received) 18.11.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Тітов Вячеслав Андрійович (Титов Вячеслав Андреевич, Titov Vyacheslav Andriyovich) – доктор технічних наук, завідувач кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, м. Київ. E-mail: vat.kpi@gmail.com.

Злочевська Наталія Костянтинівна (Злочевская Наталья Константиновна, Zlochevska Nataliia Kostiantynivna) – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, м. Київ. E-mail: zlochevskaya.natali@gmail.com

Лаврінєнков Антон Дмитрович (Лавриненков Антон Дмитриевич, Lavrinenkov Anton Dmytrovych) – кандидат технічних наук, доцент кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, м. Київ. E-mail: alavrinenkov@hotmail.com.